

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **08228025 A**(43) Date of publication of application: **03.09.96**

(51) Int. Cl. **H01L 33/00**  
**H01S 3/18**

(21) Application number: **07322924**(22) Date of filing: **12.12.95**(30) Priority: **22.12.94 JP 06320100**(71) Applicant: **NICHIA CHEM IND LTD**

(72) Inventor: **NAKAMURA SHUJI**  
**IWASA SHIGETO**  
**NAGAHAMA SHINICHI**

(54) **NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING  
 ELEMENT**

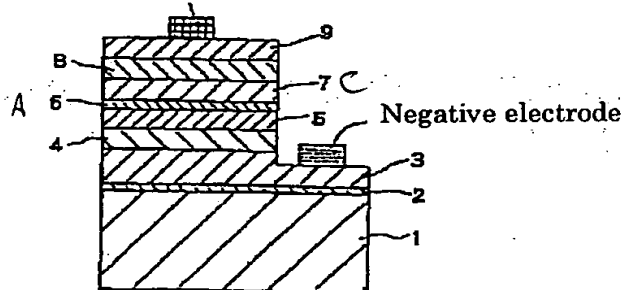
## (57) Abstract:

**PURPOSE:** To rapidly enhance the light emitting output by sandwiching an active layer made of InGaN between n type clad layers made of InGaN having a larger band gap than that of this active layer.

**CONSTITUTION:** An active layer 6 is formed between the first n type and p type clad layers 5 and 7. This active layer 6 formed of  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) may be either n type or p type and can emit light between bands by being undoped and enables half value width of the emitted wavelength to be narrowed. As for a preferable combination of the active layer 6 and the first n type and p type clad layers 5 and 7, the first n type clad layer 5, the active layer 6 and the first p type clad layer may be formed of respectively  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ ,  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  and  $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ . In terms of the relation of the band gaps, it is mandatory to be  $y < x$ ,  $z < x$ . Through these procedures, the crystallizability of the active layer 6 can be enhanced to notably improve the luminous output, thereby enabling a high brightness green colored LED although conventionally hard to make to be realized.

COPYRIGHT: (C)1996,JPO

Positive electrode



**[Claim(s)]**

**[Claim 1]** The nitride semiconductor light emitting device characterized by having 1st n type clad layer which consists of a nitride semiconductor containing an indium and a gallium, and consists of an n type nitride semiconductor with which it has the barrier layer which has the 1st field and 2nd field, and a band gap is large and contains an indium and a gallium rather than a barrier layer in contact with the 1st field of this barrier layer.

**[Claim 2]** The nitride semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by having n type contact layer which consists of n type GaN in contact with 1st n type clad layer.

**[Claim 3]** The nitride semiconductor light emitting device according to claim 1 characterized by having 2nd n type clad layer which consists of the 1st n type clad layer from n type nitride semiconductor which a band gap is large and contains aluminum and a gallium in contact with 1st n type clad layer.

**[Claim 4]** The nitride semiconductor light emitting device according to claim 3 characterized by having n type contact layer which consists of n type GaN on 2nd n type clad layer.

**[Claim 5]** The nitride semiconductor light emitting device characterized by having 1st p type clad layer which consists of a nitride semiconductor containing an indium and a gallium, and consists of a p type nitride semiconductor with which it has the barrier layer which has the 1st field and 2nd field, and a band gap is large and contains an indium and a gallium rather than a barrier layer in contact with the 2nd field of this barrier layer.

**[Claim 6]** The nitride semiconductor light emitting device according to claim 5 characterized by having p type contact layer which consists of p type GaN in contact with 1st p type clad layer.

**[Claim 7]** The nitride semiconductor light emitting device according to claim 5 characterized by having 2nd p type clad layer which consists of the 1st p type clad layer from p type nitride semiconductor which a band gap is large and contains aluminum and a gallium in contact with 1st p type clad layer.

**[Claim 8]** The nitride semiconductor light emitting device according to claim 7 characterized by having p type contact layer which consists of p type GaN on 2nd p type clad layer.

**[Claim 9]** Consist of a nitride semiconductor containing an indium and a gallium, and it has the barrier layer which has the 1st field and 2nd field. In

contact with the 1st field of this barrier layer, a band gap is larger than a barrier layer. And it has 1st n type clad layer which consists of an n type nitride semiconductor containing an indium and a gallium. The nitride semiconductor light emitting device characterized by having 1st p type clad layer which consists of a p type nitride semiconductor with which a band gap is large and contains an indium and a gallium rather than a barrier layer in contact with the 2nd field of this barrier layer.

[Claim 10] The nitride semiconductor light emitting device according to claim 9 characterized by having n type contact layer which consists of n type GaN in contact with 1st n type clad layer.

[Claim 11] The nitride semiconductor light emitting device according to claim 9 or 10 characterized by having p type contact layer which consists of p type GaN in contact with 1st p type clad layer.

[Claim 12] The nitride semiconductor light emitting device according to claim 9 characterized by having 2nd n type clad layer which consists of the 1st n type clad layer from n type nitride semiconductor which a band gap is large and contains aluminum and a gallium in contact with 1st n type clad layer.

[Claim 13] The nitride semiconductor light emitting device according to claim 12 characterized by having n type contact layer which consists of n type GaN in contact with 2nd n type clad layer.

[Claim 14] The nitride semiconductor light emitting device according to claim 9 characterized by having 2nd p type clad layer which consists of the 1st p type clad layer from p type nitride semiconductor which a band gap is large and contains aluminum and a gallium in contact with 1st p type clad layer.

[Claim 15] The nitride semiconductor light emitting device according to claim 14 characterized by having p type contact layer which consists of p type GaN on 2nd p type clad layer.

[Claim 16] The claim 1 characterized by a barrier layer having quantum well structure, or the nitride semiconductor light emitting device of 15 given in any 1 term.

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] this invention relates to the light emitting device

which consists of a nitride semiconductor ( $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b} \text{--} \text{'N, } 0 \leq a', 0 \leq b', \text{ and } a' + b' \leq 1$ ) used for light emitting diode (Light Emitting Diode), a laser diode (LD), etc.

[0002]

[Description of the Prior Art] promising \*\* of the nitride semiconductor ( $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b} \text{--} \text{'N, } 0 \leq a', 0 \leq b', \text{ and } a' + b' \leq 1$ ) is carried out as a material of light emitting devices, such as Light Emitting Diode, LD, etc. which emit light to the wavelength field from an ultraviolet region to a red field. In fact, using this semiconductor material, these people announced blue Light Emitting Diode with a luminous intensity of 1 cd in November, 1993, announced the bluish green color Light Emitting Diode with a luminous intensity of 2 cds in April, 1994, and announced blue Light Emitting Diode with a luminous intensity of 2 cds in October, 1994. All of these Light Emitting Diodes are produced commercially, and practical use of the present display, a signal, etc. is presented with them.

[0003] The luminescence chip of blue and the bluish-green color Light Emitting Diode put in practical use now has the structure where of the laminating of n type contact layer which consists of n type GaN on silicon on sapphire, n type clad layer which consists of n type AlGaIn, the barrier layer which consists of n type InGaIn, p type clad layer which consists of p type AlGaIn, and the p type contact layer which consists of p type GaN was fundamentally carried out to order. Between silicon on sapphire and n type contact layer, the buffer layer which consists of GaN, AlGaIn, or AlN is formed. p type dopants, such as n type dopants, such as Si and germanium, and/or Zn, Mg, are doped, and, as for n type InGaIn of a barrier layer, as for the luminescence wavelength of a Light Emitting Diode element, it is possible to make it change to an ultraviolet shell red field by changing the kind of impurity which changes In composition ratio of InGaIn of the barrier layer, or is doped to a barrier layer.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] although it has the output of 200 times or more as compared with Light Emitting Diode which the conventional Light Emitting Diode has about 3mW of radiant power outputs in 20mA, and consists of SiC -- realization of short wavelength LD -- further -- high -- in order to realize brightness Light Emitting Diode, improvement in

the further radiant power output is desired Therefore, this invention offers the structure of a nitride semiconductor light emitting device new for the purpose achievement for the purpose of the improvement in an output of the light emitting device which consists of a nitride semiconductor.

[0005]

[Means for Solving the Problem] As a result of inquiring wholeheartedly about the clad layer which sandwiches the barrier layer which consists of a nitride semiconductor which contains In and Ga in terrorism structure to the double formed with a nitride semiconductor, this invention persons newly find out preferably that the output of a light emitting device improves In and Ga by leaps and bounds by forming with one [ at least ] nitride semiconductor containing both clad layers, and came to make this invention.

[0006] That is, it consists of a nitride semiconductor which contains an indium and a gallium according to this invention, and has the barrier layer which has the 1st field and 2nd field, and in contact with the 1st field of this barrier layer, rather than a barrier layer, a band gap is large and the nitride semiconductor light emitting device characterized by having 1st n type clad layer which becomes from n type nitride semiconductor containing an indium and a gallium is offered.

[0007] Moreover, it consists of a nitride semiconductor which contains an indium and a gallium according to this invention, and has the barrier layer which has the 1st field and 2nd field, and in contact with the 2nd field of this barrier layer, rather than a barrier layer, a band gap is large and the nitride semiconductor light emitting device characterized by having 1st p type clad layer which becomes from p type nitride semiconductor containing an indium and a gallium is offered.

[0008] Furthermore, according to this invention, it consists of a nitride semiconductor containing an indium and a gallium. Have the barrier layer which has the 1st field and 2nd field, and a band gap is larger than a barrier layer in contact with the 1st field of this barrier layer. And it has 1st n type clad layer which consists of an n type nitride semiconductor containing an indium and a gallium. In contact with the 2nd field of this barrier layer, rather than a barrier layer, a band gap is large and the nitride semiconductor light emitting device characterized by having 1st p type clad layer which becomes from p type nitride semiconductor containing an indium

and a gallium is offered.

[0009] In each above-mentioned invention, n type contact layer which consists of n type GaN can be formed on 1st n type clad layer, and/or p type contact layer which consists of p type GaN can be formed on 1st p type clad layer.

[0010] Moreover, in each above-mentioned invention, a band gap is larger than 1st n type clad layer in contact with 1st n type clad layer. And 2nd n type clad layer which consists of an n type nitride semiconductor containing aluminum and a gallium is formed. And/or, in contact with 1st p type clad layer, rather than 1st p type clad layer, a band gap is large and 2nd p type clad layer which becomes from p type nitride semiconductor containing aluminum and a gallium can be formed. In this case, n type contact layer which consists of n type GaN can be formed on 2nd n type clad layer, and/or p type contact layer can be formed on 2nd p type clad layer. In one more desirable mode of this invention, a barrier layer is formed as quantum well structure.

[0011]

[Function] The conventional nitride semiconductor light emitting device had the structure which sandwiched the barrier layer which consists of InGaN in the clad layer which consists of AlGaN. On the other hand, in this invention, it found out that a radiant power output improved by leaps and bounds by inserting the barrier layer which newly consists of this InGaN by InGaN with a larger band gap than the barrier layer. This is because the new InGaN clad layer is working as a buffer layer between an InGaN barrier layer and an AlGaN clad layer. the property in which InGaN is soft as a property of a crystal -- having -- \*\*\*\* -- the lattice constant of an AlGaN clad layer and InGaN -- it is thought that there is work which absorbs the crystal defect produced according to a coefficient-of-thermal-expansion difference as it is irregular For this reason, since the newly formed InGaN clad layer absorbs these crystal defects, the crystal defect of an InGaN barrier layer decreases sharply and the crystallinity of an InGaN barrier layer becomes good by leaps and bounds, a radiant power output increases.

[0012] On the other hand, with the structure whose AlGaN clad layer was pinched for the conventional InGaN barrier layer, if thickness of an InGaN barrier layer is made into less than 200Å, for example, many cracks will



arise in an AlGa<sub>N</sub> clad layer and an InGa<sub>N</sub> barrier layer. It is shown that distortion which this produces from the grid mismatching which has the stiff property very much on the property of a crystal of an AlGa<sub>N</sub> clad layer, and is produced from an interface with an AlGa<sub>N</sub> clad layer only in the InGa<sub>N</sub> barrier layer of thin thickness, and a coefficient-of-thermal-expansion difference cannot be elastically eased by the InGa<sub>N</sub> barrier layer. For this reason, since a crack arises in an InGa<sub>N</sub> barrier layer and an AlGa<sub>N</sub> clad layer, large improvement in a radiant power output cannot be desired. Therefore, in the former, when thickness of an InGa<sub>N</sub> barrier layer was not carried out for example, more than the 200 Å, the crack arose and element production was difficult.

[0013]

[Embodiments of the Invention] Drawing 1 is the outline cross section showing the structure of the nitride semiconductor light emitting device concerning an example of this invention. This light emitting device has a substrate 1, and the buffer layer 2 which eases the grid mismatching of a substrate 1 and the nitride semiconductor layer formed on it is formed on the substrate 1. On a buffer layer 2, n type contact layer 3 for forming a negative electrode is formed, 2nd n type clad layer 4 is formed on this contact layer 3, and 1st n type clad layer 5 is formed on 2nd n type clad layer 4. A barrier layer 6 is formed on 1st n type clad layer 5, and 1st p type clad layer 7 is formed on the barrier layer 6, respectively. On 1st p type clad layer 7, p type contact layer 9 for 2nd p type clad layer 8 forming a positive electrode on it is formed.

[0014] the nitride semiconductor with which a barrier layer 6 contains In and Ga in this invention -- it forms by  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) preferably -- having -- n type and p type -- although any are sufficient, it is desirable, especially when strong luminescence between bands is obtained, the half-value width of luminescence wavelength becomes narrow and a laser element is realized by considering as a non dope (impurity additive-free) You may dope n type dopant and/or p type dopant to a barrier layer 6. If n type dopant is doped to a barrier layer 6, compared with the thing of a non dope, band luminescence intensity can be strengthened further. Although peak wavelength can be shifted to about 0.5eV low energy side rather than the peak wavelength of luminescence between bands if p type dopant is doped to

a barrier layer 6, half-value width becomes large. If the both sides of p type dopant and n type dopant are doped to a barrier layer 6, luminescence intensity of the barrier layer which doped only p type dopant mentioned above can be enlarged further. When forming the barrier layer which doped especially p type dopant, as for the conductivity type of a barrier layer, it is desirable to also dope n type dopants, such as Si, and to use the whole as n type. A non dope is the most desirable, in order to grow up a crystalline good barrier layer and to consider as a laser element.

[0015] The thickness of a barrier layer 6 can be most preferably adjusted to the thickness below 0.05 micrometers (500Å) 0.1 micrometers or less still more preferably 0.5 micrometers or less, when it constitutes the whole from a nitride semiconductor of single composition. The nitride semiconductor containing an indium is because it is easy to produce a crystal defect, so that thickness increases, and it is in the inclination for crystallinity to become good so that the thickness is thin when it is single composition.

[0016] By the way, by making a barrier layer 6 into quantum well structure (single quantum well structure or multiplex quantum well structure) showed that the half-value width of luminescence wavelength became narrower, and a radiant power output also improved.

[0017] Here, quantum well structure means the structure of a barrier layer where luminescence between quantum level with the barrier-layer composition nitride semiconductor (preferably  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ )) of a non dope is obtained, and single quantum well structure points out the structure where a well layer consists of one layer of single composition. That is, the barrier layer of single quantum well structure is constituted by only the single well layer. Moreover, multiplex quantum well structure points out the multilayer structure which carried out the laminating of a well layer and the barrier layer by turns. In this multilayer structure, 2 outermost layers of drum of both sides are constituted by the well layer, respectively. That is, the barrier layer of multiplex quantum well structure is the thin film laminated structure which consisted of combination of a well layer / barrier layers, such as  $\text{InGaN}/\text{GaN}$  and  $\text{InGaN}/\text{InGaN}$  (composition differs), and carried out the laminating of these well layer and the barrier layer by turns. Thus, when making a barrier layer 6 into multiplex quantum well structure, a barrier layer can also be formed not only by  $\text{InGaN}$  but by  $\text{GaN}$ . If a barrier layer 6 is

made into multiplex quantum well structure, a radiant power output will improve rather than the barrier layer of single quantum well structure. In this case, a well layer has still more preferably desirable thickness 70A or less 100A or less. The range of the thickness of this well layer is the same also about the barrier layer (constituted by the single well layer) of single quantum well structure. A barrier layer [ in / multiplex quantum well structure / on the other hand ] has the still more preferably desirable thickness of 100A or less 150A or less. Namely, in the barrier layer of multiplex quantum well structure, well layer thickness is made into several angstroms - dozens of A, and a barrier layer can be similarly made into the thickness of several angstroms - dozens of A, can carry out the laminating of these well layer and the barrier layer, and can make them multiplex quantum well structure.

[0018] n type nitride semiconductor with which 1st n type clad layer 5 contains In and Ga in this invention -- desirable -- n type -- it is formed by  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ) moreover, p type nitride semiconductor with which 1st p type clad layer 7 contains In and Ga -- desirable -- p type -- it is formed by  $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $0 < z < 1$ ) Although these clad layers 5 and 7 may form only either, as shown in drawing 1, they form both preferably especially. Since 1st n type clad layer 5 and 2nd p type clad layer 7 containing an indium are soft, a crystal These clad layers 5 and 7 carry out an operation of a buffer layer like a cushion. When 2nd n type clad layer 4 mentioned later, 2nd p type clad layer 8, n type contact layer 3, and p type contact layer 9 are formed in the outside of these clad layers 5 and 7, it can prevent that a crack enters into these layers (3, 4, 8, 9). As for the desirable range of the thickness on which InGa<sub>N</sub> acts as a buffer layer, in the combination of a barrier layer 6, 1st n type clad layer 5 and a barrier layer 6, 1st p type clad layer 7 and a barrier layer 6, 1st n type clad layer 5, and 1st p type clad layer 7, it is desirable to make the total thickness of the combined InGa<sub>N</sub> layer into 300A or more. Moreover, 2nd n type clad layer 4 which will be later described if 1st n type clad layer 5 is omitted in the case of a light emitting device acts as 1st n type clad layer 5, and if 1st p type clad layer 7 is omitted, 2nd p type clad layer 8 similarly described later will act as 1st p type clad layer 7.

[0019] As mentioned above, although 1st n type clad layer 5 which consists of InGa<sub>N</sub>, a barrier layer 6, and 1st p type clad layer 7 were explained, it is

desirable respectively to adjust most preferably In composition ratio of these InGaN(s), i.e., x values in each above-mentioned empirical formula, y value, and z value to 0.2 or less 0.3 or less 0.5 or less. It is because it is in the inclination for the crystallinity of InGaN to become bad and for a radiant power output to decline as the mole ratio of an indium becomes large. Furthermore, InAlGaN which replaced a part of Ga with aluminum of a minute amount in the range which does not change the effect of InGaN into the formula shall also be contained in the aforementioned formula in the aforementioned  $\text{In}_x \text{Ga}_{1-x} \text{N}$ ,  $\text{In}_y \text{Ga}_{1-y} \text{N}$ , and  $\text{In}_z \text{Ga}_{1-z} \text{N}$ . for example, the inside of an  $\text{In}_a \text{Al}_b \text{Ga}_{1-a-b} \text{N}$  formula -- b' With [ a value ] 0.1 [ or less ], the effect of 1st n type clad layer, a barrier layer, and 2nd p type clad layer does not change. However, since it is in the inclination for a crystal to become hard when aluminum is made to contain, it becomes large to constitute a barrier layer 6, 1st n type clad layer 5, and 1st p type clad layer 7 only from InGaN of 3 yuan mixed crystal which does not contain aluminum, and a radiant power output's is the best than the nitride semiconductor of 4 yuan mixed crystal.

[0020] next, n type nitride semiconductor containing aluminum and a gallium -- preferably n type -- p type nitride semiconductor containing n type clad layer 4, and the 2nd aluminum and gallium which consists of  $\text{Al}_a \text{Ga}_{1-a} \text{N}$  ( $0 < a < 1$ ) -- preferably Although 2nd p type clad layer 8 which consists of p mold  $\text{Al}_b \text{Ga}_{1-b} \text{N}$  ( $0 < b < 1$ ) can form only either As shown in drawing 1 , while forming 2nd n type clad layer 4 in contact with 1st n type clad layer 3 desirably, in contact with 1st p type clad layer 7, 2nd p type clad layer 8 is formed. As for 2nd n type clad layer 4 and 2nd p type clad layer 8, it is desirable to form by 50Å - 0.5 micrometers thickness. Moreover, as for aluminum mixed-crystal ratio of AlGaN, i.e., a value in each above-mentioned empirical formula, and b value, carrying out to 0.4 or less is [ 0.6 or less ] still more preferably desirable respectively. When the crystal of AlGaN is hard and a value and its b value are larger than 0.6, it is a shell which a crack tends to generate in an AlGaN layer. If these values are larger than 0.6 respectively even if the semiconductor layer which consists of the above InGaN acts as a buffer layer, it will become easy to generate a crack.

[0021] Moreover, InAlGaN which replaced a part of Ga by In of a minute amount in the range which does not change the effect of AlGaN into the

formula shall also be contained in the aforementioned formula in the aforementioned  $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$  and  $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ . for example, the inside of an  $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$  formula -- a' With [ a value ] 0.1 [ or less ], the effect of  $\text{AlGaIn}$  hardly changes. However, since a band gap will become small if  $\text{In}$  of a minute amount is made to contain, you have to make a band gap larger than 1st n type clad layer 5, a barrier layer 6, and 2nd p type clad layer 7. Moreover, since it is in the inclination for crystallinity to become bad and for a radiant power output to decline when  $\text{In}$  is made to contain, a radiant power output becomes large and it is most desirable than the nitride semiconductor of 4 yuan mixed crystal to constitute 2nd n type clad layer 4 and 2nd p type clad layer 8 only from  $\text{AlGaIn}$  of 3 yuan mixed crystal which does not contain  $\text{In}$ . Thus, by using the layer containing aluminum as 2nd n type clad layer 4 and p type clad layer 8 of the above 2nd, since band offset with a barrier layer 6, 1st n type clad layer 5, and 1st p type clad layer 7 can be enlarged, luminous efficiency can be gathered.

[0022] The combination with desirable barrier layer and 1st clad layer forms 1st n type clad layer by  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ , and forms  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  and 1st p type clad layer for a barrier layer by  $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ . However, in this combination, filling  $y < x$  and  $z < x$  from the relation of a band gap cannot be overemphasized. Since narrow luminescence of n type or the half-value width according [ the direction of a non dope ] to luminescence between bands is obtained, a barrier layer is desirable.

[0023]  $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$  and 1st n type clad layer are formed by  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ , and the further most desirable combination forms [ 2nd n type clad layer / a barrier layer ]  $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  and 2nd p type clad layer for  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  and 1st p type clad layer by  $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$ . According to this combination, it becomes terrorism structure to the double which carried out the laminating of the nitride semiconductor which was most excellent in crystallinity, and a radiant power output improves by leaps and bounds.

[0024] Next, desirably, as shown in drawing 1, as for n type contact layer 3, it is best to form n type contact layer 3 in contact with 2nd n type clad layer 4, and to form p type contact layer 9 in contact with 2nd p type clad layer 8. Moreover, n type contact layer 3 can be formed in either 2nd n type clad layer 4 or 1st n type clad layer 5, and can form p type contact layer 9 in either 2nd p type clad layer 8 or 1st p type clad layer 7. That is, if 2nd n type clad layer

4 is omitted, it can form in contact with 1st n type clad layer 5, and if p type contact layer 9 omits 2nd p type clad layer 8 similarly, it can form in contact with 1st p type clad layer 7. Although it is also possible to omit 1st n type clad layer 5 and 2nd n type clad layer 4, to use n type contact layer 9 as a clad layer, or to omit both 1st p type clad layer 7 and 2nd p type clad layer 8 in both the cases of being extreme, and to use p type contact layer 9 as a clad layer. Since a radiant power output is in the inclination to fall extremely as compared with an unabridged thing, it is not desirable. That is, in the light emitting device of this invention, high power is most obtained for the thing of the structure shown in drawing 1.

[0025] It is necessary to set the nitride semiconductor which constitutes n type contact layer 3 and p type contact layer 9 to GaN which does not contain aluminum and In further again. Since a contact layer is a layer which forms an electrode, if crystallinity is good and forms a layer with large carrier concentration, an electrode material and OMIKKU will become is easy to be obtained. For that purpose, GaN is the most desirable. Moreover, the metallic material which contains Ti and aluminum as an electrode material from which n type contact layer 3 and OMIKKU are easy to be obtained is desirable, and the metallic material which contains nickel and Au in the electrode material from which p type contact layer 9 and OMIKKU are easy to be obtained is desirable. Thus, if the contact layer which considers as the layer which should form an electrode and consists of GaN is formed,  $V_f$  (forward voltage) of a light emitting device can be reduced, and luminous efficiency can be raised.

[0026] Next, the outline cross section showing the structure of the light emitting device (laser diode) which starts one example of this invention at drawing 2 is shown, and the perspective diagram of the light emitting device of drawing 2 is shown in drawing 3. In drawing 2, the same sign is given to the same portion as drawing 1. This light emitting device has p type multilayer 55 which has n type multilayer 44 formed between n type contact layer 3 and 2nd n type clad layer 5, and was formed between p type contact layer 9 and 2nd p type clad layer 8. In addition, n type multilayer 44 and p type multilayer 55 are designed so that the laminating of the nitride semiconductor with which composition differs mutually, i.e., two kinds of nitride semiconductors with which refractive indexes differ mutually, may be

carried out more than two-layer by turns by  $\lambda/4n$  ( $\lambda$ : wavelength,  $n$ : refractive index) and they can reflect the luminescence wavelength of a barrier layer 6 by multilayers 44 and 55. By forming  $n$  type multilayer 44 between 2nd  $n$  type clad layer 4 and  $n$  type contact layer 3, and forming  $p$  type multilayer 55 further between 2nd  $p$  type clad layer 8 and  $p$  type contact layer 9. Since luminescence of a barrier layer 6 is closed to a barrier layer by the multilayer reflecting layer and it becomes possible in slight depth when laser oscillation is tried for a positive electrode as a stripe electrode 10 micrometers or less as shown in drawing 2 and drawing 3 for example, laser oscillation can be carried out easily. In addition,  $n$  type dopant and  $p$  type dopant are doped by the aforementioned multilayers 44 and 55, respectively, and the conductivity type is determined.

[0027] Moreover, as shown in drawing 2, when producing a laser element by using sapphire as a substrate, the structure of a laser element serves as a flip chip method. That is, it becomes the structure which takes out a positive electrode and a negative electrode from the same side. In this case, as for  $n$  type multilayer 44 formed in  $n$  type layer side as shown in drawing 2, forming in a  $p$  layer side is more desirable than the level surface of the contact layer 3 which forms a negative electrode. It is because luminescence of a barrier layer 6 will spread in  $n$  type contact layer 3 below a barrier layer 6 and slight optical closing depth will not be made, since the refractive-index difference of 2nd  $n$  type clad layer 4 and  $n$  type contact layer 3 is small, if  $n$  type multilayer 44 is formed in a substrate 1 side rather than the level surface of the contact layer 3. This is the effect peculiar to nitride semiconductor laser which used an insulating substrate like sapphire.

[0028] Although drawing 2 and drawing 3 show a laser element, the aforementioned  $n$  type multilayer 44 and  $p$  type multilayer 55 can also be formed in  $n$  type layer or  $p$  type layer. Since the total reflection of the luminescence of a barrier layer can be carried out to a luminescence observation side side in a multilayer when a Light Emitting Diode element is produced, for example if it forms in either, the radiant power output of a light emitting device improves. Moreover,  $n$  type multilayer 44 can be formed also in the interior of  $n$  type contact layer 3. That is, an operation of a multilayer does not change as a laminated structure of  $n$  type GaN+ $n$  type multilayer 44+ $n$  type GaN. However, as stated above, when realizing the laser element

of the flip chip method which uses sapphire as a substrate, it cannot be overemphasized that it is desirable to carry out the position of n type multilayer 44 above the level surface of n type contact layer 3 which forms a negative electrode (i.e., p type layer side). Moreover, it is possible similarly p type multilayer 55 and to form in the interior of p type contact layer 9.

[0029] As for two kinds of nitride semiconductors which constitute the aforementioned multilayer, it is desirable that they are the nitride semiconductor  $\{\text{Inc Ga}_{1-c}\text{N} (0 < c < 1)\}$  with which at least one side contains an indium and a gallium, or GaN. It is because it can prevent that GaN and an Inc Ga<sub>1-c</sub>N layer carry out an operation like a buffer layer, and a crack goes into another monolayer by forming Inc Ga<sub>1-c</sub>N and GaN in one side of the monolayer when carrying out the laminating of the monolayer and considering as a multilayer. The crystal of an Inc Ga<sub>1-c</sub>N layer and a GaN layer depends this on a soft thing compared with AlGa<sub>1-c</sub>N. On the other hand, if multilayer formation of the multilayer is carried out by the AlGa<sub>1-c</sub>N layer from which aluminum composition differs mutually, for example so that it may become the 0.5 micrometers or more of the total thickness, a crack will enter into a multilayer and element production will become difficult.

[0030] a multilayer -- constituting -- two -- a kind -- a nitride -- a semiconductor -- being desirable -- combination -- one side -- above -- Inc Ga -- one - c N -- or -- GaN -- becoming -- another side -- aluminum -- a gallium - - containing -- a nitride -- a semiconductor -- {-- for example, -- Ald Ga -- one - d N (0 < d < 1) --} -- constituting -- things -- best -- it is . Inc Ga<sub>1-c</sub>N and Ald Ga<sub>1-d</sub>N are because the design of a multilayer with a large reflection factor is possible by constituting a multilayer from such material according to luminescence wavelength since the difference of a refractive index is large. Moreover, since IncGa<sub>1-c</sub>N is carrying out the operation of a buffer layer, a ten or more layer laminating becomes possible, without a crack going into an Ald Ga<sub>1-d</sub>N layer. In addition, the refractive indexes of InN, GaN, and AlN are 2.9, 2.5, and 2.15, respectively. The refractive index of such mixed crystal assumes that a Vegard's Law is followed, and it can ask for it under the condition that it is proportional to composition.

[0031] Here, as mentioned above, adjusting to 0.2 or less most preferably is [ 0.5 or less ] preferably desirable [ c value of Inc Ga<sub>1-c</sub>N / 0.3 or less ]. It is because the crystallinity of InGa<sub>1-c</sub>N becomes bad as the mole ratio of an



indium becomes large. Moreover, as for  $d$  value of  $\text{Al}_d\text{Ga}_{1-d}\text{N}$ , carrying out to 0.4 or less is [ 0.6 or less ] still more preferably desirable. When larger than 0.6, it is the shell which a crack tends to generate in an  $\text{AlGaIn}$  layer.

[0032] In the above, although the structure of a light emitting device was explained, the manufacture method is explained briefly below. In order to manufacture the light emitting device which consists of a nitride semiconductor For example, MOVPE (organic-metal vapor growth), MBE (molecular-beam vapor growth), It is obtained by carrying out a laminating using vapor growths, such as HDVPE (hydride vapor growth), so that it may become terrorism structure to double by conductivity types, such as  $n$  type and  $p$  type, on a substrate about  $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$  ( $0 \leq a$ ,  $0 \leq b$ ,  $a+b \leq 1$ ). Sapphire (the Cth page, the Ath page, and the Rth page are included),  $\text{SiC}$  (6 H-SiC and 4 H-SiC are also included), a spinel ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , especially the (111) field),  $\text{ZnO}$  and  $\text{Si}$ ,  $\text{GaAs}$ , etc. can be used for a substrate 1, and drawing 2 shows silicon on sapphire. Although an  $n$  type nitride semiconductor is obtained also in the state of a non dope, it is obtained by introducing  $n$  type dopants, such as  $\text{Si}$ , germanium, and  $\text{S}$ , into a semiconductor layer into a crystal growth. Moreover, a  $p$  type nitride semiconductor layer is obtained by introducing  $p$  type dopants, such as  $\text{Mg}$ ,  $\text{Zn}$ ,  $\text{Cd}$ , calcium,  $\text{Be}$ , and  $\text{C}$ , into a semiconductor layer into a crystal growth similarly, or performing annealing above 400 degrees C after introduction. A buffer layer 2 is formed in order to ease the grid mismatching of a substrate 1 and a nitride semiconductor, for example, in the MOVPE method,  $\text{GaN}$ ,  $\text{AlN}$ ,  $\text{GaAlN}$ , etc. are formed in many cases at the low temperature around 500 degrees C. Moreover, a buffer layer may not be formed in case a substrate with near nitride semiconductor like  $\text{SiC}$  and  $\text{ZnO}$  and lattice constant is used.

[0033]

[Example] this invention is explained based on a concrete example below. The following examples show the growth method by the MOVPE method.

this example is explained with reference to example 1 drawing 1 .

[0034] TMG (trimethylgallium) and  $\text{NH}_3$  It used and the buffer layer 2 which becomes the Cth page of the silicon on sapphire 1 set to the reaction container from  $\text{GaN}$  at 500 degrees C was grown up by 500A thickness.

[0035] Next, temperature is raised to 1050 degrees C and it is TMG and  $\text{NH}_3$ . It is  $\text{SiH}_4$  moreover.  $n$  type contact layer 3 which consists of  $\text{Si}$  dope  $n$  type

GaN was grown up by 4-micrometer thickness using gas.

[0036] Then, TMA (trimethylaluminum) was added to material gas and 2nd n type clad layer 4 which similarly consists of Si dope n mold aluminum0.3 Ga0.7 N layer at 1050 degrees C was grown up by 0.1-micrometer thickness.

[0037] Next, temperature is lowered to 800 degrees C and they are TMG, TMI (trimethylindium), NH<sub>3</sub>, and SiH<sub>4</sub>. It used and 1st n type clad layer 5 which consists of Si dope n type In0.01Ga0.99N was grown up by 500Å thickness.

[0038] Then, TMG, TMI, and NH<sub>3</sub> The barrier layer 6 which uses and consists of non dope In0.05Ga0.95N at 800 degrees C was grown up by 400Å thickness. Then, TMG, TMI, and NH<sub>3</sub> 1st p type clad layer 7 which newly consists of Mg dope p type In0.01Ga0.99N at 800 degrees C using Cp<sub>2</sub> Mg (magnesium cyclopentadienyl) in addition was grown up by 500Å thickness.

[0039] Next, temperature was raised to 1050 degrees C and 2nd p type clad layer 8 which consists of Mg dope p type aluminum0.3 Ga0.7 N was grown up by 0.1-micrometer thickness using TMG, TMA, NH<sub>3</sub>, and Cp<sub>2</sub> Mg.

[0040] Then, p type contact layer 9 which consists of Mg dope p type GaN using TMG, NH<sub>3</sub>, and Cp<sub>2</sub> Mg at 1050 degrees C was grown up by 0.5-micrometer thickness. After the reaction end, temperature was lowered to the room temperature, the wafer was picked out from the reaction container, annealing of a wafer was performed at 700 degrees C, and p type layer was further formed into low resistance. Next, the mask of a predetermined configuration was formed in the front face of p type contact layer 9 of the best layer, and it \*\*\*\*\*ed until the front face of n type contact layer 3 was exposed. The negative electrode which becomes the front face of n type contact layer 3 from Ti and aluminum, and the positive electrode which becomes the front face of p type contact layer 9 from nickel and Au were formed after etching. After electrode formation, after dividing a wafer into the chip of 350-micrometer angle, it considered as the Light Emitting Diode element which has the directional characteristics of 15 half power angles according to a conventional method. This Light Emitting Diode element showed purple luminescence of Vf3.1V and 390nm of emission peak wavelengths by If(forward current)20mA, there were 4 cds of luminous intensity, and the radiant power output was 6mW. Furthermore, the half-value width of an emission spectrum is 20nm, and showed luminescence

with very sufficient color purity.

[0041] The Light Emitting Diode element was produced like the example 1 except having formed example 2 barrier layer 6 by  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$  in  $\text{If}_{20\text{mA}}$ , this Light Emitting Diode shows with  $V_{\text{f}}3.1\text{V}$ ,  $510\text{nm}$  of emission peak wavelengths, and a half-value width [ of  $20\text{nm}$  ] green luminescence, and depends it on the luminous intensity of 16 cds,  $6\text{mW}$  of radiant power outputs, and luminescence between bands -- high -- brightness green Light Emitting Diode was realizable

[0042] It is  $\text{SiH}_4$  as DEZ (diethyl zinc) and an n type dopant as a source of an example 3p type dopant. It used and the Light Emitting Diode element was produced like the example 1 except having formed the n mold  $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$  layer which doped Si and Zn as a barrier layer 6 by  $1000\text{\AA}$  thickness. In  $\text{If}_{20\text{mA}}$ , this Light Emitting Diode element showed with  $450\text{nm}$  of emission peak wavelengths, and a half-value width [ of  $70\text{nm}$  ] blue luminescence, and showed the luminous intensity of 10 cds, and  $7\text{mW}$  of radiant power outputs and the outstanding property.

[0043] an example 4 -- the Light Emitting Diode element was produced like the example 1 except having not formed 1st p type clad layer 7 This Light Emitting Diode element had luminous intensity equivalent to the Light Emitting Diode element of an example 1, except that 3 cds and the radiant power output were  $5\text{mW}$ .

[0044] an example 5 -- the Light Emitting Diode element was produced like the example 1 except having not formed 1st n type clad layer 5 This Light Emitting Diode element had luminous intensity equivalent to Light Emitting Diode of an example 1, except that 3 cds and the radiant power output were  $5\text{mW}$ .

[0045] The Light Emitting Diode element was produced like the example 1 except having formed example 6 barrier layer in the thickness of  $20\text{\AA}$  by non dope  $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ , and having considered as single quantum well structure. This Light Emitting Diode element showed blue luminescence with a  $V_{\text{f}}3.1\text{V}$  and a luminescence wavelength of  $450\text{nm}$  in  $\text{If}_{20\text{mA}}$ , luminous intensity was 5 cds, the radiant power output was  $6\text{mW}$ , and the half-value width of an emission spectrum was  $20\text{nm}$  and sharp luminescence between bands.

[0046] an example 7 -- this example is explained with reference to drawing 2 and drawing 3 After growing up even n type contact layer 3 according to the

technique of an example 1, temperature is lowered to 800 degrees C, and they are TMG, TMI, NH<sub>3</sub>, and SiH<sub>4</sub>. It used and the thin film which consists of Si dope n type In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N was grown up by 380A thickness. Next, temperature is raised to 1050 degrees C and they are TMG, TMA, NH<sub>3</sub>, and SiH<sub>4</sub>. It used and the thin film which consists of Si dope n type aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N was grown up by 390A thickness. These operations were repeated 20 times and 1st n type multilayer 44 which carried out ten layers at a time the laminating of Si dope n mold In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N layer and the Si dope aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N layer by turns was formed.

[0047] Next, 2nd n type clad layer 4, 1st n type clad layer 5, a barrier layer 6, 1st p type clad layer 7, and 2nd p type clad layer 8 were grown up like the example 1. Next, make temperature into 800 degrees C, and using TMG, TMI, NH<sub>3</sub>, and Cp<sub>2</sub>Mg, grow up 380A Mg dope p mold In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N layer, and temperature is continuously made into 1050 degrees C. Using TMG, TMA, NH<sub>3</sub>, and Cp<sub>2</sub>Mg gas, the Mg dope p mold aluminum<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N layer was grown up by 390A thickness, and 2nd p type multilayer 55 which carried out the laminating ten layers at a time by turns, respectively was formed.

[0048] The wafer which grew up p type contact layer 9 into the front face of the p type multilayer 55 like the example 1 was produced after p type multilayer 55 formation. Next, after \*\*\*\*\*ing a nitride semiconductor layer like an example 1, the mask of a predetermined configuration was formed in the front face of p type contact layer 9 which is the best layer, and the positive electrode was formed in n type contact layer 3 by width of face of 10 micrometers with width of face of 50 micrometers at the negative electrode and p type contact layer 9, respectively. Thus, if n type multilayer 44 is formed in the front face of n type contact layer, the level surface which forms a negative electrode automatically will become a substrate side so that it may be shown in under from n type multilayer 44, i.e., drawing 2 .

[0049] Next, the silicon-on-sapphire side of the direction which does not form the nitride semiconductor layer was ground, thickness of a substrate was set to 90 micrometers, and the scribe of the Mth page on the front face of silicon on sapphire (field which is equivalent to the side of a hexagonal prism in hexagonal system) was carried out. The wafer was divided into the chip of 700-micrometer angle after the scribe, and stripe type laser as shown in

drawing 3 was produced. In addition, drawing 3 shows the perspective diagram of the laser element by this example, and makes the nitride semiconductor stratification plane which intersected perpendicularly with the stripe-like positive electrode the optical resonance side. Moreover, it is a front face except the electrode of this laser element SiO<sub>2</sub> Although covered with the becoming insulator layer, especially the insulator layer is not illustrating. Next, after installing this chip in the heat sink and carrying out wire bond of each electrode, when laser oscillation was tried in ordinary temperature, it is threshold current density 1.5 kA/cm<sup>2</sup>. Laser oscillation with an oscillation wavelength of 390nm was checked.

[0050]

[Effect of the Invention] as explained above, by forming an InGaN clad layer in contact with the both sides of an InGaN barrier layer, or one side of those, the crystallinity of a barrier layer improves, and a radiant power output boils the light emitting device of this invention markedly, and improves For example, at the conventional blue Light Emitting Diode, in 450nm, although the luminous intensity of 2 cds and the radiant power output were about 3mW, this invention can attain the radiant power output of the double not less by blue Light Emitting Diode. moreover, difficult in the former, since the crystallinity of a barrier layer became good according to this invention, although it was difficult in the former for crystallinity to become bad and to obtain green luminescence near 520nm by luminescence between bands when the indium composition ratio of a barrier layer was enlarged -- high -- brightness green Light Emitting Diode was also realizable thus, the light emitting device of this invention was unrealizable in the former -- high -- brightness green Light Emitting Diode was made by making it realize for the first time -- the full color Light Emitting Diode display of high brightness with this very large effect can be manufactured for the first time -- becoming -- moreover, the utility value on the industries, such as the light source for lighting, and the light source for reading, -- being great -- it is

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] The type section view showing the structure of the light emitting device concerning one example of this invention:

[Drawing 2] The type section view showing the structure of the light emitting device concerning other examples of this invention.

[Drawing 3] The perspective diagram showing the structure of the light emitting device of drawing 2 .

[Description of Notations]

- 1 -- Silicon on sapphire
- 2 -- Buffer layer
- 3 -- n type contact layer
- 4 -- 2nd n type clad layer
- 5 -- 1st n type clad layer
- 6 -- Barrier layer
- 7 -- 1st p type clad layer
- 8 -- 2nd p type clad layer
- 9 -- p type contact layer
- 44 -- n type multilayer
- 55 -- p type multilayer

Fig. 1

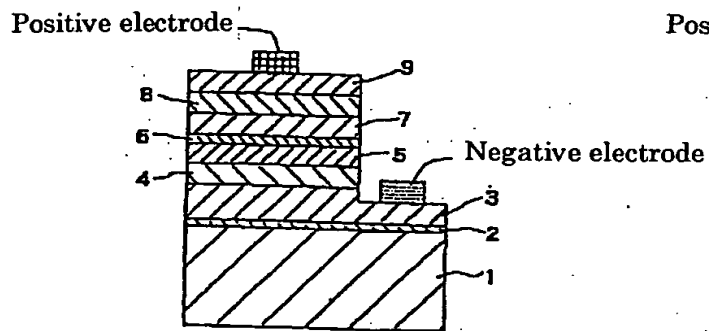


Fig. 2

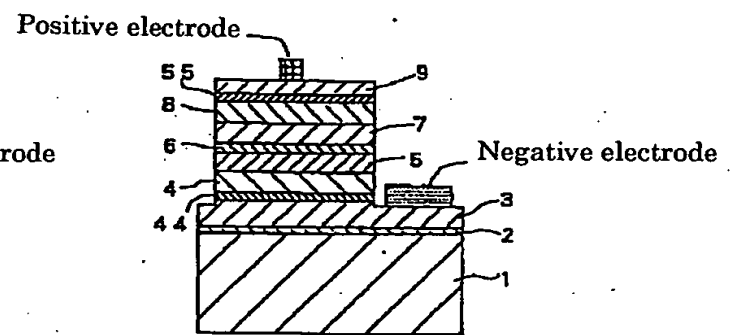
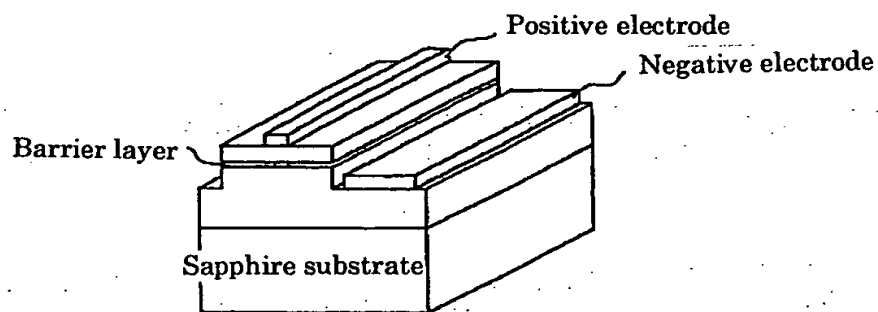


Fig. 3



**This Page Blank (uspto)**



(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平 8 - 2 2 8 0 2 5

(43) 公開日 平成8年(1996)9月3日

(51) Int. Cl. <sup>o</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 33/00			H 0 1 L 33/00	C
H 0 1 S 3/18			H 0 1 S 3/18	

審査請求 有 請求項の数 1 6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平7-322924

(22) 出願日 平成7年(1995)12月12日

(31) 優先権主張番号 特願平6-320100

(32) 優先日 平6(1994)12月22日

(33) 優先権主張国 日本 ( J P )

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 岩佐 成人

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 長濱 慎一

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

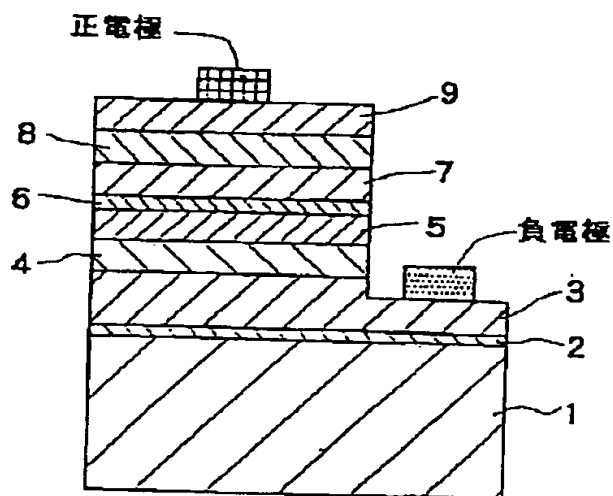
(74) 代理人 弁理士 鈴江 武彦

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 向上した発光出力を示す窒化物半導体発光素子を提供する。

【解決手段】 In および Ga を含有する窒化物半導体からなる活性層 (6) の両側またはその一方に接して In および Ga を含有する窒化物半導体からなるクラッド層 (5、7) を形成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第1の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項2】 第1のn型クラッド層に接してn型GaNよりなるn型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項3】 第1のn型クラッド層に接して第1のn型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層を備えることを特徴とする請求項1記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項4】 第2のn型クラッド層上にn型GaNよりなるn型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項3記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項5】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第2の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項6】 第1のp型クラッド層に接してp型GaNよりなるp型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項5記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項7】 第1のp型クラッド層に接して第1のp型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層を備えることを特徴とする請求項5記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項8】 第2のp型クラッド層上にp型GaNよりなるp型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項7記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項9】 インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第1の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備え、該活性層の第2の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子。

【請求項10】 第1のn型クラッド層に接してn型GaNよりなるn型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項9記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項11】 第1のp型クラッド層に接してp型GaNよりなるp型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項9または10記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項12】 第1のn型クラッド層に接して第1のn型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層を備えることを特徴とする請求項9記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項13】 第2のn型クラッド層に接してn型GaNよりなるn型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項12記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項14】 第1のp型クラッド層に接して第1のp型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層を備えることを特徴とする請求項9記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項15】 第2のp型クラッド層上にp型GaNよりなるp型コンタクト層を備えることを特徴とする請求項14記載の窒化物半導体発光素子。

【請求項16】 活性層が量子井戸構造を有することを特徴とする請求項1ないし15のいずれか1項記載の窒化物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する分野】本発明は発光ダイオード(LED)、レーザダイオード(LD)等に使用される窒化物半導体( $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ,  $0 \leq a'$ ,  $0 \leq b'$ ,  $a' + b' \leq 1$ )よりなる発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】紫外領域から赤色領域までの波長領域に発光するLED、LD等の発光素子の材料として窒化物半導体( $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$ ,  $0 \leq a'$ ,  $0 \leq b'$ ,  $a' + b' \leq 1$ )が有望視されている。事実、本出願人は、この半導体材料を用いて、1993年11月に光度1cdの青色LEDを発表し、1994年4月に光度2cdの青緑色LEDを発表し、1994年10月には光度2cdの青色LEDを発表した。これらのLEDは全て製品化されて、現在ディスプレイ、信号等の実用に供されている。

【0003】現在実用化されている青色、青緑色LEDの発光チップは、基本的には、サファイア基板の上に、n型GaNよりなるn型コンタクト層と、n型AlGaNよりなるn型クラッド層と、n型InGaNよりなる活性層と、p型AlGaNよりなるp型クラッド層と、p型GaNよりなるp型コンタクト層とが順に積層された構造を有している。サファイア基板とn型コンタクト層との間にはGaN、AlGaNまたはAlNよりなるバッファ層が形成されている。活性層のn型InGaNはSi、Ge等のn型ドーパントおよび/またはZn、Mg等のp型ドーパントがドーブされており、LED素子の発光波長は、その活性層のInGaNのIn組成比を変えるか、または活性層にドーブする不純物の種類を変えることにより、紫外から赤色領域まで変化させるこ

とが可能となっている。

#### 【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来のLEDは、20mAにおいて発光出力は3mW近くあり、SiCよりなるLEDと比較して200倍以上の出力を有しているが、短波長LEDの実現、さらに高輝度なLEDを実現するためには、さらなる発光出力の向上が望まれている。従って、本発明は窒化物半導体よりなる発光素子の出力向上を目的とし、その目的達成のために新規な窒化物半導体発光素子の構造を提供するものである。

#### 【0005】

【課題を解決するための手段】本発明者らは、窒化物半導体で形成されるダブルヘテロ構造においてInとGaを含む窒化物半導体よりなる活性層を挟むクラッド層について鋭意研究した結果、少なくとも一方の、好ましくは両方のクラッド層をInとGaとを含む窒化物半導体で形成することにより、発光素子の出力が飛躍的に向上することを新たに発見し、本発明をなすに至った。

【0006】即ち、本発明によれば、インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第1の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0007】また、本発明によれば、インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第2の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0008】さらに、本発明によれば、インジウムとガリウムとを含む窒化物半導体よりなり、第1の面と第2の面とを有する活性層を有し、該活性層の第1の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第1のn型クラッド層を備え、該活性層の第2の面に接して活性層よりもバンドギャップが大きく、かつインジウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第1のp型クラッド層を備えることを特徴とする窒化物半導体発光素子が提供される。

【0009】上記各発明において、第1のn型クラッド層上にn型Ga<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>よりなるn型コンタクト層を形成し、および／または第1のp型クラッド層上にp型Ga<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>よりなるp型コンタクト層を形成することができる。

【0010】また、上記各発明において、第1のn型クラッド層に接して第1のn型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むn型窒化物半導体よりなる第2のn型クラッド層を形成

し、および／または第1のp型クラッド層に接して第1のp型クラッド層よりもバンドギャップが大きく、かつアルミニウムとガリウムとを含むp型窒化物半導体よりなる第2のp型クラッド層を形成することができる。この場合、第2のn型クラッド層上にn型Ga<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>よりなるn型コンタクト層を形成し、および／または第2のp型クラッド層上にp型コンタクト層を形成することができる。本発明の1つのより好ましい態様において、活性層は、量子井戸構造として形成される。

#### 10 【0011】

【作用】従来の窒化物半導体発光素子はInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>よりなる活性層をAlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>よりなるクラッド層で挟んだ構造を有していた。一方、本発明では新たにこのInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>よりなる活性層を、その活性層よりもバンドギャップの大きいInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>で挟むことにより発光出力が飛躍的に向上することを見いだした。これは新たなInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>クラッド層がInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層とAlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>クラッド層との間のバッファ層として働いているからである。InGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>は結晶の性質として柔らかい性質を有しており、AlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>クラッド層とInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>との格子定数不整合と熱膨張係数差によって生じる結晶欠陥を吸収する働きがあると考えられる。このため新たに形成したInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>クラッド層が、これら結晶欠陥を吸収してInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層の結晶欠陥が大幅に減少するので、InGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層の結晶性が飛躍的に良くなるので発光出力が増大するのである。

【0012】一方、従来のInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層をAlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>クラッド層で挟んだ構造では、例えばInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層の厚さを200オングストローム未満にすると、AlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>クラッド層とInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層とにクラックが多数生じる。これはAlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>クラッド層が結晶の性質上、非常に硬い性質を有しており、薄い膜厚のInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層のみではAlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>クラッド層との界面から生じる格子不整合と、熱膨張係数差から生じる歪をInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層で弾性的に緩和できないことを示している。このためInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層、AlGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>クラッド層にクラックが生じるので発光出力の大幅な向上が望めないのである。従って従来ではInGa<sub>x</sub>N<sub>1-x</sub>活性層の膜厚を例えば200オングストローム以上にしないとクラックが生じ素子作製は困難であった。

#### 40 【0013】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の一例に係る窒化物半導体発光素子の構造を示す概略断面図である。この発光素子は、基板1を有し、基板1上には、基板1とその上に形成される窒化物半導体層との格子不整合を緩和するバッファ層2が形成されている。バッファ層2上には、負電極を形成するためのn型コンタクト層3が形成され、このコンタクト層3上には、第2のn型クラッド層4が形成され、第2のn型クラッド層4上には、第1のn型クラッド層5が形成されている。第1のn型クラ

ッド層5上には、活性層6が、活性層6の上には、第1のp型クラッド層7がそれぞれ形成されている。第1のp型クラッド層7上には、第2のp型クラッド層8が、その上には正電極を形成するためのp型コンタクト層9が形成されている。

【0014】本発明において、活性層6は、InおよびGaを含有する窒化物半導体、好ましくは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ ) で形成され、n型、p型いずれでもよいが、ノンドープ（不純物無添加）とすることにより強いバンド間発光が得られ発光波長の半値幅が狭くなり、レーザ素子を実現する上で特に好ましい。活性層6にn型ドーパントおよび／またはp型ドーパントをドーピングしてもよい。活性層6にn型ドーパントをドーピングするとノンドープのものに比べてバンド間発光強度をさらに強くすることができる。活性層6にp型ドーパントをドーピングするとバンド間発光のピーク波長よりも約0.5 eV低エネルギー側にピーク波長をシフトさせることができるが、半値幅は広がる。活性層6にp型ドーパントとn型ドーパントとの双方をドーピングすると、前述したp型ドーパントのみドーピングした活性層の発光強度をさらに大きくすることができる。特にp型ドーパントをドーピングした活性層を形成する場合、活性層の導電性はSi等のn型ドーパントをもドーピングして全体をn型とすることが好ましい。結晶性のよい活性層を成長させてレーザ素子とするには、ノンドープが最も好ましい。

【0015】活性層6の厚さは、全体を単一組成の窒化物半導体で構成する場合、0.5  $\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは0.1  $\mu\text{m}$ 以下、最も好ましくは0.05  $\mu\text{m}$ （500オングストローム）以下の厚さに調整することができる。インジウムを含む窒化物半導体は、単一組成である場合、厚さが増すほど結晶欠陥が生じやすく、その厚さが薄いほど結晶性が良くなる傾向にあるからである。

【0016】ところで、活性層6を量子井戸構造（単一量子井戸構造または多重量子井戸構造）とすることにより、発光波長の半値幅がより狭くなり、発光出力も向上することがわかった。

【0017】ここで、量子井戸構造とは、ノンドープの活性層構成窒化物半導体（好ましくは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x < 1$ )）による量子準位間の発光が得られる活性層の構造をいい、単一量子井戸構造とは、井戸層が単一組成の1層よりなる構造を指す。すなわち、単一量子井戸構造の活性層は、単一の井戸層のみにより構成される。また、多重量子井戸構造とは、井戸層と障壁層を交互に積層した多層膜構造を指す。この多層膜構造において、両側の2つ最外層は、それぞれ井戸層により構成される。すなわち、多重量子井戸構造の活性層は、例えばInGa<sub>1-x</sub>N/GaN、InGa<sub>1-x</sub>N/InGa<sub>1-x</sub>N（組成が異なる）等の井戸層／障壁層の組み合わせからなり、これら井戸層および障壁層を交互に積層した薄膜積層構

造である。このように、活性層6を多重量子井戸構造とする場合、障壁層は、InGa<sub>1-x</sub>Nばかりでなく、GaNで形成することもできる。活性層6を多重量子井戸構造とすると、単一量子井戸構造の活性層よりも発光出力が向上する。その場合、井戸層は100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下の膜厚が望ましい。この井戸層の膜厚の範囲は単一量子井戸構造の活性層（単一の井戸層により構成される）についても同様である。一方、多重量子井戸構造における障壁層は、150オングストローム以下、さらに好ましくは100オングストローム以下の厚さが望ましい。すなわち、多重量子井戸構造の活性層において、井戸層の厚さを数オングストローム～数十オングストロームとし、障壁層も同様に数オングストローム～数十オングストロームの厚さとし、これら井戸層と障壁層を積層して、多重量子井戸構造とすることができる。

【0018】本発明において、第1のn型クラッド層5は、InとGaを含有するn型窒化物半導体、好ましくは、n型 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 1$ ) で形成される。また、第1のp型クラッド層7は、InとGaを含有するp型窒化物半導体、好ましくは、p型 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  ( $0 < z < 1$ ) で形成される。これらクラッド層5および7は、いずれか一方のみを形成してもよいが、特に好ましくは、図1に示すように、両者を形成する。インジウムを含む第1のn型クラッド層5および第2のp型クラッド層7は結晶が柔らかいので、これらのクラッド層5、7がクッションのようにバッファ層の作用をして、これらのクラッド層5、7の外側に、後述する第2のn型クラッド層4、第2のp型クラッド層8、n型コンタクト層3、p型コンタクト層9を形成した際に、これらの層（3、4、8、9）中にクラックが入るのを防止することができる。InGa<sub>1-x</sub>Nがバッファ層として作用する膜厚の好ましい範囲は、活性層6と第1のn型クラッド層5、活性層6と第1のp型クラッド層7、活性層6と第1のn型クラッド層5と第1のp型クラッド層7の組み合わせにおいて、その組み合わせたInGa<sub>1-x</sub>N層の総膜厚を300オングストローム以上にすることが好ましい。また、発光素子の場合には第1のn型クラッド層5を省略すれば、後に述べる第2のn型クラッド層4が第1のn型クラッド層5として作用し、また第1のp型クラッド層7を省略すれば同じく後に述べる第2のp型クラッド層8が第1のp型クラッド層7として作用する。

【0019】以上、InGa<sub>1-x</sub>Nよりなる第1のn型クラッド層5、活性層6、第1のp型クラッド層7について説明したが、これらのInGa<sub>1-x</sub>NのIn組成比、つまり上記各組成式におけるx値、y値、z値は、それぞれ、0.5以下、好ましくは0.3以下、最も好ましくは0.2以下に調整することが望ましい。インジウムのモル比が大きくなるに従って、InGa<sub>1-x</sub>Nの結晶性が悪く

なり発光出力が低下する傾向にあるからである。さらに、前記  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、 $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  とは、その式中において  $\text{InGa}\text{N}$  の効果を変化させない範囲で  $\text{Ga}$  の一部を微量の  $\text{Al}$  で置換した  $\text{InAlGa}\text{N}$  も前記式中に含まれるものとする。例えば  $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$  式中で  $b'$  値が 0.1 以下であれば第 1 の  $n$  型クラッド層、活性層、第 2 の  $p$  型クラッド層の効果は変わることがない。ただ、 $\text{Al}$  を含有させると結晶が硬くなる傾向にあるので四元混晶の窒化物半導体よりも、 $\text{Al}$  を含まない三元混晶の  $\text{InGa}\text{N}$  のみで活性層 6、第 1 の  $n$  型クラッド層 5、第 1 の  $p$  型クラッド層 7 を構成するのが発光出力が大きくなり最も良い。

【0020】次に、アルミニウムとガリウムとを含む  $n$  型窒化物半導体、好ましくは、 $n$  型  $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$

( $0 < a < 1$ ) よりなる第 2 の  $n$  型クラッド層 4 と、アルミニウムとガリウムとを含む  $p$  型窒化物半導体好ましくは、 $p$  型  $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$  ( $0 < b < 1$ ) よりなる第 2 の  $p$  型クラッド層 8 は、いずれか一方のみを形成することができるが、望ましくは、図 1 に示すように、第 1 の  $n$  型クラッド層 3 に接して第 2 の  $n$  型クラッド層 4 を形成すると共に、第 1 の  $p$  型クラッド層 7 に接して第 2 の  $p$  型クラッド層 8 を形成する。第 2 の  $n$  型クラッド層 4、第 2 の  $p$  型クラッド層 8 は 50 オングストローム～0.5  $\mu\text{m}$  の膜厚で形成することが望ましい。また、 $\text{AlGa}\text{N}$  の  $\text{Al}$  混晶比、つまり上記各組成式における  $a$  値、 $b$  値は、それぞれ、0.6 以下、さらに好ましくは 0.4 以下にすることが望ましい。 $\text{AlGa}\text{N}$  は結晶が硬く、 $a$  値、 $b$  値が 0.6 より大きいと  $\text{AlGa}\text{N}$  層にクラックが発生しやすいからである。前記  $\text{InGa}\text{N}$  からなる半導体層がバッファ層として作用しても、これらの値がそれぞれ 0.6 よりも大きいと、クラックが発生しやすくなる。

【0021】また、前記  $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ 、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$  とは、その式中において  $\text{AlGa}\text{N}$  の効果を変化させない範囲で  $\text{Ga}$  の一部を微量の  $\text{In}$  で置換した  $\text{InAlGa}\text{N}$  も前記式中に含まれるものとする。例えば  $\text{In}_a\text{Al}_b\text{Ga}_{1-a-b}\text{N}$  式中で  $a'$  値が 0.1 以下であれば  $\text{AlGa}\text{N}$  の効果はほとんど変わることがない。但し、微量の  $\text{In}$  を含有させるとバンドギャップが小さくなるので、第 1 の  $n$  型クラッド層 5、活性層 6、第 2 の  $p$  型クラッド層 7 よりもバンドギャップを大きくしなければならぬ。また、 $\text{In}$  を含有させると結晶性が悪くなり発光出力が低下する傾向にあるので、四元混晶の窒化物半導体よりも、 $\text{In}$  を含まない三元混晶の  $\text{AlGa}\text{N}$  のみで第 2 の  $n$  型クラッド層 4、第 2 の  $p$  型クラッド層 8 を構成するのが発光出力が大きくなり最も好ましい。このように、 $\text{Al}$  を含む層を第 2 の  $n$  型クラッド層 4、および前記第 2 の  $p$  型クラッド層 8 とすることにより、活性層 6、第 1 の  $n$  型クラッド層 5、第 1 の  $p$  型ク

ラッド層 7 とのバンドオフセットを大きくできるので発光効率を上げることができる。

【0022】活性層と第 1 のクラッド層の好ましい組み合わせは、第 1 の  $n$  型クラッド層を  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、活性層を  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、第 1 の  $p$  型クラッド層を  $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$  で形成するものである。但し、この組み合わせにおいて、バンドギャップの関係から  $y < x$ 、 $z < x$  を満たしていることはいうまでもない。活性層は、 $n$  型または  $p$  型の方がバンド間発光による半値幅の狭い発光が得られるので好ましい。

【0023】さらに最も好ましい組み合わせは、第 2 の  $n$  型クラッド層を  $\text{Al}_a\text{Ga}_{1-a}\text{N}$ 、第 1 の  $n$  型クラッド層を  $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 、活性層を  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 、第 1 の  $p$  型クラッド層を  $\text{In}_z\text{Ga}_{1-z}\text{N}$ 、第 2 の  $p$  型クラッド層を  $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{N}$  で形成するものである。この組み合わせによると、最も結晶性に優れた窒化物半導体を積層したダブルヘテロ構造となり、飛躍的に発光出力が向上する。

【0024】次に、 $n$  型コンタクト層 3 は、望ましくは、図 1 に示すように、第 2 の  $n$  型クラッド層 4 に接して  $n$  型コンタクト層 3 を形成し、第 2 の  $p$  型クラッド層 8 に接して  $p$  型コンタクト層 9 を形成することが最も良い。また、 $n$  型コンタクト層 3 は、第 2 の  $n$  型クラッド層 4、若しくは第 1 の  $n$  型クラッド層 5 のいずれかに形成可能であり、 $p$  型コンタクト層 9 は第 2 の  $p$  型クラッド層 8、若しくは第 1 の  $p$  型クラッド層 7 のいずれかにも形成可能である。つまり、第 2 の  $n$  型クラッド層 4 を省略すれば、第 1 の  $n$  型クラッド層 5 に接して形成することができ、 $p$  型コンタクト層 9 も同様に第 2 の  $p$  型クラッド層 8 を省略すれば第 1 の  $p$  型クラッド層 7 に接して形成することができる。極端な場合は、第 1 の  $n$  型クラッド層 5 と第 2 の  $n$  型クラッド層 4 とを共に省略して、 $n$  型コンタクト層 9 をクラッド層としたり、第 1 の  $p$  型クラッド層 7 と第 2 の  $p$  型クラッド層 8 とを共に省略して、 $p$  型コンタクト層 9 をクラッド層とすることも可能であるが、発光出力は省略しないものに比較して極端に低下する傾向にあるので望ましくない。即ち、本発明の発光素子では、図 1 に示す構造のものが最も高出力が得られる。

【0025】さらにまた、 $n$  型コンタクト層 3、 $p$  型コンタクト層 9 を構成する窒化物半導体は  $\text{Al}$ 、 $\text{In}$  を含まない  $\text{Ga}\text{N}$  とする必要がある。コンタクト層は電極を形成する層であるので、結晶性が良く、キャリア濃度が大きい層を形成すれば電極材料とオーミックが得られやすくなる。そのためには  $\text{Ga}\text{N}$  が最も好ましい。また、 $n$  型コンタクト層 3 とオーミックが得られやすい電極材料としては  $\text{Ti}$  と  $\text{Al}$  を含む金属材料が好ましく、 $p$  型コンタクト層 9 とオーミックが得られやすい電極材料には  $\text{Ni}$  と  $\text{Au}$  を含む金属材料が好ましい。このように電極を形成すべき層として  $\text{Ga}\text{N}$  よりなるコンタクト層を

形成すると、発光素子のVf（順方向電圧）を低下させ、発光効率を向上させることができる。

【0026】次に、図2に本発明の一実施例に係る発光素子（レーザーダイオード）の構造を示す概略断面図を示し、図3に図2の発光素子の斜視図を示す。図2において、図1と同様の部分には同じ符号を付している。この発光素子は、n型コンタクト層3と第2のn型クラッド層5との間に形成されたn型多層膜44を有し、またp型コンタクト層9と第2のp型クラッド層8との間に形成されたp型多層膜55を有する。なお、n型多層膜44およびp型多層膜55は互いに組成の異なる窒化物半導体、つまり互いに屈折率の異なる2種類の窒化物半導体が、例えば $\lambda/4n$ （ $\lambda$ ：波長、 $n$ ：屈折率）で交互に2層以上積層されて、活性層6の発光波長を多層膜44、55で反射できるように設計されている。第2のn型クラッド層4とn型コンタクト層3との間にn型多層膜44を形成し、さらに第2のp型クラッド層8とp型コンタクト層9との間にp型多層膜55を形成することにより、図2、図3に示すように例えば正電極を10 $\mu$ m以下のストライプ電極としてレーザ発振を試みた際、活性層6の発光を多層膜反射層で活性層に閉じこめ可能となるので、容易にレーザ発振できる。なお前記多層膜44、55にはそれぞれn型ドーパント、p型ドーパントがドーパされて導電型が決定されている。

【0027】また、図2に示すようにサファイアを基板としてレーザ素子を作製する場合、レーザ素子の構造はフリップチップ方式となる。つまり同一面側から正電極、負電極を取り出す構造となる。この場合、図2に示すようにn型層側に形成するn型多層膜44は、負電極を形成するコンタクト層3の水平面よりもp層側に形成することが好ましい。なぜなら、n型多層膜44をコンタクト層3の水平面よりも基板1側に形成すると、第2のn型クラッド層4とn型コンタクト層3との屈折率差が小さいので、活性層6の発光が活性層6よりも下のn型コンタクト層3中で広がってしまい、光閉じこめができないからである。これはサファイアのような絶縁性基板を使用した窒化物半導体レーザ特有の効果である。

【0028】図2および図3はレーザ素子を示すものであるが、前記n型多層膜44、p型多層膜55は、n型層、p型層のいずれか一方にのみ形成することもできる。いずれか一方に形成すると、例えばLED素子を作製した場合に、多層膜で活性層の発光を発光観測面側に全反射できるので、発光素子の発光出力が向上する。またn型多層膜44はn型コンタクト層3の内部にも形成することができる。つまりn型Ga<sub>1-c</sub>N+n型多層膜44+n型Ga<sub>1-c</sub>Nの積層構造としても、多層膜の作用は変わることがない。但し、上に述べたように、サファイアを基板とするフリップチップ方式のレーザ素子を実現する場合には、n型多層膜44の位置を負電極を形成するn型コンタクト層3の水平面よりも上、つまりp型層側に

することが好ましいことはいうまでもない。また同様にp型多層膜55もp型コンタクト層9の内部に形成することも可能である。

【0029】前記多層膜を構成する2種類の窒化物半導体は、少なくとも一方がインジウムとガリウムとを含む窒化物半導体（例えばIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N（0<c<1））またはGaNであることが好ましい。なぜなら、単一層を積層して多層膜とする場合、その単一層の一方にIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N、GaNを形成することにより、GaN、In<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N層がバッファ層のような作用をして、もう一方の単一層にクラックが入るのを防止することができるからである。これはIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N層、GaN層の結晶がAlGaNに比べて柔らかいことによるものである。これに対し、多層膜を例えば互いにAl組成の異なるAlGaN層により、例えば総膜厚0.5 $\mu$ m以上となるように多層形成すると、多層膜中にクラックが入り、素子作製が困難となる。

【0030】多層膜を構成する2種類の窒化物半導体の好ましい組み合わせは、一方が前記のようにIn<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>N若しくはGaNよりなり、もう一方がアルミニウムとガリウムとを含む窒化物半導体（例えば、Al<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>N（0<d<1））で構成することが最良である。なぜなら、In<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>NとAl<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>Nとは屈折率の差が大きいのでこれらの材料で多層膜を構成することにより、発光波長に応じて反射率の大きい多層膜の設計が可能であるからである。また、In<sub>c</sub>Ga<sub>1-c</sub>Nがバッファ層の作用をしているため、Al<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>N層にクラックが入ることなく10層以上積層可能となる。なお、InN、GaN、AlNの屈折率はそれぞれ、2.9、2.5、2.15である。これらの混晶の屈折率はベガードの法則に従うと仮定し、組成に比例するとして求めることができる。

【0031】ここで、In<sub>a</sub>Ga<sub>1-a</sub>Nのc値は上述したように0.5以下、好ましくは0.3以下、最も好ましくは0.2以下に調整することが望ましい。なぜなら、インジウムのモル比が大きくなるに従って、InGaNの結晶性が悪くなるからである。またAl<sub>d</sub>Ga<sub>1-d</sub>Nのd値は0.6以下、さらに好ましくは0.4以下にすることが望ましい。0.6より大きいとAlGaN層にクラックが発生しやすいからである。

【0032】以上、発光素子の構造について説明したが、次に製造方法について簡単に説明する。窒化物半導体よりなる発光素子を製造するには、例えばMOVPE（有機金属気相成長法）、MBE（分子線気相成長法）、HDVPE（ハイドライド気相成長法）等の気相成長法を用いて、基板上にIn<sub>a'</sub>Al<sub>b'</sub>Ga<sub>1-a'-b'</sub>N（0 $\leq$ a'、0 $\leq$ b'、a'+b' $\leq$ 1）をn型、p型等の導電型でダブルヘテロ構造になるように積層することによって得られる。基板1には例えばサファイア（C面、A面、R面を含む）、SiC（6H-SiC、4H

-SiCも含む)、スピネル ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ 、特にその(111)面)、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{Si}$ 、 $\text{GaAs}$ 等が使用でき、図2ではサファイア基板を示している。n型の窒化物半導体はノンドープの状態でも得られるが、 $\text{Si}$ 、 $\text{Ge}$ 、 $\text{S}$ 等のn型ドーパントを結晶成長中に半導体層中に導入することによって得られる。またp型の窒化物半導体層は $\text{Mg}$ 、 $\text{Zn}$ 、 $\text{Cd}$ 、 $\text{Ca}$ 、 $\text{Be}$ 、 $\text{C}$ 等のp型ドーパントを同じく結晶成長中に半導体層中に導入するか、または導入後400℃以上でアニーリングを行うことにより得られる。バッファ層2は基板1と窒化物半導体との格子不整合を緩和するために設けられ、例えばMOVPE法では500℃前後の低温で $\text{GaN}$ 、 $\text{AlN}$ 、 $\text{GaAlN}$ 等が形成されることが多い。また $\text{SiC}$ 、 $\text{ZnO}$ のような窒化物半導体と格子定数の近い基板を使用する際にはバッファ層が形成されないこともある。

#### 【0033】

【実施例】以下本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。以下の実施例はMOVPE法による成長方法を示している。

##### 実施例1

図1を参照して本実施例を説明する。

【0034】TMG (トリメチルガリウム) と $\text{NH}_3$ とを用い、反応容器にセットしたサファイア基板1のC面に500℃で $\text{GaN}$ よりなるバッファ層2を500オングストロームの膜厚で成長させた。

【0035】次に温度を1050℃まで上げ、TMG、 $\text{NH}_3$ に加え $\text{SiH}_4$ ガスをを用い、 $\text{Si}$ ドーブn型 $\text{GaN}$ よりなるn型コンタクト層3を4μmの膜厚で成長させた。

【0036】続いて原料ガスにTMA (トリメチルアルミニウム) を加え、同じく1050℃で $\text{Si}$ ドーブn型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる第2のn型クラッド層4を0.1μmの膜厚で成長させた。

【0037】次に、温度を800℃に下げ、TMG、TMI (トリメチルインジウム)、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{SiH}_4$ を用い、 $\text{Si}$ ドーブn型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる第1のn型クラッド層5を500オングストロームの膜厚で成長させた。

【0038】続いてTMG、TMI、 $\text{NH}_3$ を用い800℃でノンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなる活性層6を400オングストロームの膜厚で成長させた。続いてTMG、TMI、 $\text{NH}_3$ に加え新たに $\text{Cp}_2\text{Mg}$  (シクロペンタジエニルマグネシウム) を用い800℃で $\text{Mg}$ ドーブp型 $\text{In}_{0.01}\text{Ga}_{0.99}\text{N}$ よりなる第1のp型クラッド層7を500オングストロームの膜厚で成長させた。

【0039】次に温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を用い、 $\text{Mg}$ ドーブp型 $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ よりなる第2のp型クラッド層8を0.1μmの膜厚で成長させた。

【0040】続いて1050℃でTMG、 $\text{NH}_3$ 、 $\text{Cp}_2\text{Mg}$ を用い、 $\text{Mg}$ ドーブp型 $\text{GaN}$ よりなるp型コンタクト層9を0.5μmの膜厚で成長させた。反応終了後、温度を室温まで下げてウェーハを反応容器から取り出し、700℃でウェーハのアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化した。次に最上層のp型コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、n型コンタクト層3の表面が露出するまでエッチングした。エッチング後、n型コンタクト層3の表面に $\text{Ti}$ と $\text{Al}$ よりなる負電極、p型コンタクト層9の表面に $\text{Ni}$ と $\text{Au}$ よりなる正電極を形成した。電極形成後、ウェーハを350μm角のチップに分離した後、常法に従い半値角15度の指向特性を持つLED素子とした。このLED素子はIf (順方向電流) 20mAでVf 3.1V、発光ピーク波長390nmの紫色発光を示し、光度は4cdあり、発光出力は6mWであった。さらに、発光スペクトルの半値幅は20nmであり、非常に色純度の良い発光を示した。

#### 【0041】実施例2

20 活性層6を $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ で形成した以外は、実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLEDは、If 20mAにおいて、Vf 3.1V、発光ピーク波長510nm、半値幅20nmの緑色発光を示し、光度16cd、発光出力6mWとバンド間発光による高輝度な緑色LEDが実現できた。

#### 【0042】実施例3

p型ドーパント源としてDEZ (ジエチルジंक)、n型ドーパントとして $\text{SiH}_4$ を用いて、活性層6として $\text{Si}$ と $\text{Zn}$ をドーブしたn型 $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ 層を1000オングストロームの膜厚で形成した以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If 20mAにおいて、発光ピーク波長450nm、半値幅70nmの青色発光を示し、光度10cd、発光出力7mWと優れた特性を示した。

#### 【0043】実施例4

第1のp型クラッド層7を形成しなかった以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、光度が3cd、発光出力が5mWであった以外は実施例1のLED素子と同等であった。

#### 【0044】実施例5

第1のn型クラッド層5を形成しなかった以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、光度が3cd、発光出力が5mWであった以外は実施例1のLEDと同等であった。

#### 【0045】実施例6

活性層をノンドープ $\text{In}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ により20オングストロームの厚さに形成して単一量子井戸構造とした以外は実施例1と同様にしてLED素子を作製した。このLED素子は、If 20mAにおいて、Vf 3.1V、発光波長450nmの青色発光を示し、光度が5c

d、発光出力が6mWであり、発光スペクトルの半値幅は20nmとシャープなバンド間発光であった。

#### 【0046】実施例7

この実施例は図2および図3を参照して説明する。実施例1の手法に従いn型コンタクト層3までを成長させた後、温度を800℃に下げ、TMG、TMI、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub>を用い、Siドープn型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>Nよりなる薄膜を380オングストロームの膜厚で成長させた。次に、温度を1050℃に上げTMG、TMA、NH<sub>3</sub>、SiH<sub>4</sub>を用い、Siドープn型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nよりなる薄膜を390オングストロームの膜厚で成長させた。これらの操作を20回繰り返して、Siドープn型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N層とSiドープAl<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層を交互に10層ずつ積層した第1のn型多層膜44を形成した。

【0047】次に第2のn型クラッド層4、第1のn型クラッド層5、活性層6、第1のp型クラッド層7、および第2のp型クラッド層8を実施例1と同様に成長させた。次に、温度を800℃にしてTMG、TMI、NH<sub>3</sub>、Cp<sub>2</sub>Mgを用い、Mgドープp型In<sub>0.01</sub>Ga<sub>0.99</sub>N層を380オングストローム成長させ、続いて温度を1050℃にして、TMG、TMA、NH<sub>3</sub>、Cp<sub>2</sub>Mgガスをを用い、Mgドープp型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層を390オングストロームの膜厚で成長させ、それぞれ交互に10層ずつ積層した第2のp型多層膜55を形成した。

【0048】p型多層膜55形成後、そのp型多層膜55の表面に実施例1と同様にしてp型コンタクト層9を成長させたウェーハを作製した。次に、実施例1と同様にして窒化物半導体層をエッチングした後、最上層であるp型コンタクト層9の表面に所定の形状のマスクを形成し、n型コンタクト層3に50μmの幅で負電極、p型コンタクト層9に10μmの幅で正電極をそれぞれ形成した。このようにn型コンタクト層の表面にn型多層膜44を形成すると、自然に負電極を形成する水平面がn型多層膜44よりも下、つまり図2に示すように基板側となる。

【0049】次に、窒化物半導体層を形成していない方のサファイア基板面を研磨して基板の厚さを90μmにし、サファイア基板表面のM面（六方晶系において六角柱の側面に相当する面）をスクライプした。スクライプ後、ウェーハを700μm角のチップに分割し、図3に示すようなストライプ型のレーザを作製した。なお図3は本実施例によるレーザ素子の斜視図を示しており、ス

トライプ状の正電極と直交した窒化物半導体層面を光共振面としている。またこのレーザ素子の電極を除いた表面をSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜で被覆しているが、絶縁膜は特に図示していない。次に、このチップをヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンドした後、常温でレーザ発振を試みたところ、しきい値電流密度1.5kA/cm<sup>2</sup>で発振波長390nmのレーザ発振が確認された。

#### 【0050】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の発光素子は、InGa<sub>N</sub>活性層の両側またはその一方に接してInGa<sub>N</sub>クラッド層を形成することにより、活性層の結晶性が良化して発光出力が格段に向上する。例えば従来の青色LEDでは450nmにおいて、光度2cd、発光出力が3mW程度であったが、本発明では青色LEDでその倍以上の発光出力を達成することができる。また、従来では活性層のインジウム組成比を大きくすると結晶性が悪くなって、バンド間発光で520nm付近の緑色発光を得ることは難しかったが、本発明によると活性層の結晶性が良くなるので、従来では困難であった高輝度な緑色LEDも実現できた。このように本発明の発光素子は、従来では実現できなかった高輝度な緑色LEDを初めて実現させてきたことにより、この効果は非常に大きく、高輝度のフルカラーLEDディスプレイが初めて製作可能となり、また照明用光源、読み取り用光源等、その産業上の利用価値は多大なものがある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の一実施例に係る発光素子の構造を示す模式断面図。

【図2】 本発明の他の実施例に係る発光素子の構造を示す模式断面図。

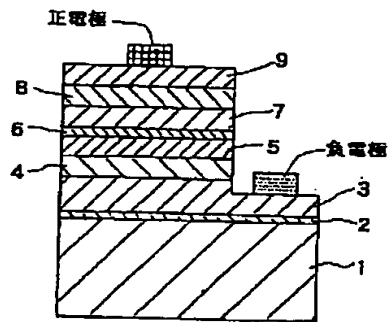
【図3】 図2の発光素子の構造を示す斜視図。

#### 【符号の説明】

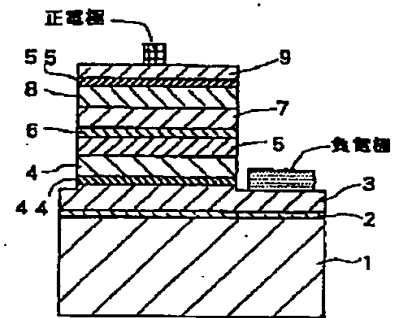
- 1…サファイア基板
- 2…バッファ層
- 3…n型コンタクト層
- 4…第2のn型クラッド層
- 5…第1のn型クラッド層
- 6…活性層
- 7…第1のp型クラッド層
- 8…第2のp型クラッド層
- 9…p型コンタクト層
- 44…n型多層膜
- 55…p型多層膜



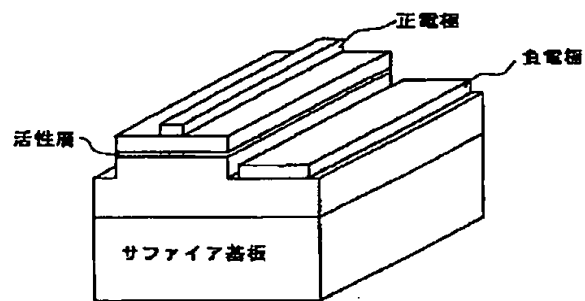
【図1】



【図2】



【図3】



**This Page Blank (uspto)**